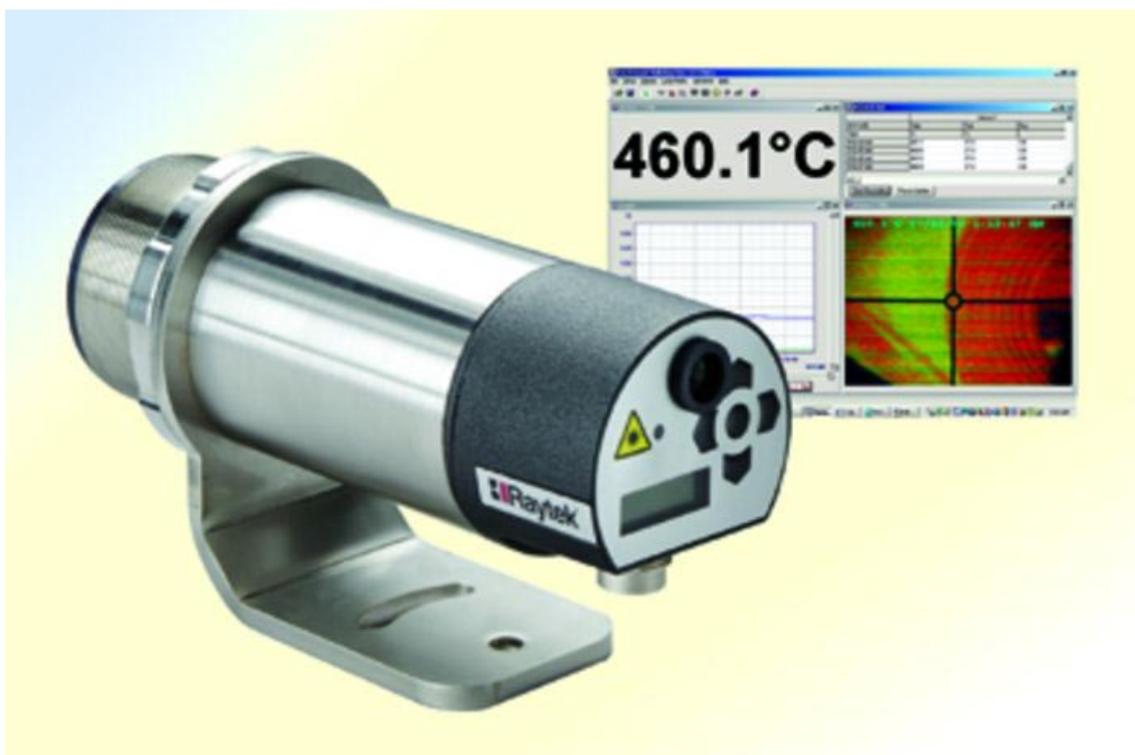


## PYROMETRES OPTIQUES

*Mesure température sans contact*



## Sommaire

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NOTIONS ÉLÉMENTAIRES.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Caractéristique d'un matériau.....</b>	<b>3</b>
2.1.1	Emission .....	3
2.1.2	Absorption .....	3
2.1.3	Réflexion et diffusion .....	3
2.1.4	Transparence et opacité .....	3
<b>2.2</b>	<b>Corps noir .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Corps réel.....</b>	<b>4</b>
2.3.1	Emissivité $\epsilon$ .....	4
<b>2.4</b>	<b>Loi mathématique rayonnement thermique émis.....</b>	<b>4</b>
2.4.1	Corps noir.....	5
2.4.2	Corps réel.....	6
<b>3</b>	<b>ABSORPTION DU RAYONNEMENT THERMIQUE .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>TYPE DE PYROMÈTRE .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>Le pyromètre optique à disparition de filament.....</b>	<b>7</b>
<b>4.2</b>	<b>Pyromètres à radiation totale .....</b>	<b>9</b>
<b>4.3</b>	<b>Pyromètres bichromatiques.....</b>	<b>9</b>
<b>4.4</b>	<b>Pyromètres mesureurs d'énergie .....</b>	<b>9</b>
<b>4.5</b>	<b>Gamme de température d'utilisation.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>11</b>

## Tables des figures

<i>Figure 1 : Spectre électromagnétique</i> .....	5
<i>Figure 2 : Evolution de l'émittance en fonction de la longueur d'onde</i> .....	6
<i>Figure 3 : Illustration des perturbations de mesure</i> .....	7
<i>Figure 4 : Schéma optique pyromètre optique à filament</i> .....	8
<i>Figure 5 : Réglage de la température du filament</i> .....	8
<i>Figure 6 : Schéma optique pyromètre à radiation totale</i> .....	9

## 1 Introduction

Depuis quelque temps, apparaît sur le marché des instruments optiques pour la mesure de la température. Autrefois, toutes mesures se faisaient par contacts. Aujourd'hui de telles mesures peuvent se faire sans contact. Les avantages sont multiples et nous comprenons bien ici leur avantage en termes de facilité d'emploi. Les pyromètres font partie de ce panorama industriel, il est dès lors intéressant de se pencher sur le sujet.

Nous allons dans un premier temps revenir sur les notions fondamentales de physique ainsi que sur les lois qui y découlent. Ensuite nous décrivons les différentes sortes de pyromètres disponibles.

## 2 Notions élémentaires

### 2.1 Caractéristique d'un matériau

Les caractéristiques d'un matériau joueront un grand rôle pour la mesure de la température. Il est intéressant de décrire les différents comportements d'un matériau vis-à-vis d'un rayonnement thermique. Ces notions sont nécessaires pour une compréhension de la répartition des flux d'énergie dans la matière. Les caractéristiques physiques d'un matériau sont les suivantes :

#### 2.1.1 Emission

Une des caractéristiques d'un matériau est de convertir son énergie interne en rayonnement thermique. L'énergie interne est dépendante de la température. L'émission des matériaux est régie par des lois physiques que nous présenterons par la suite. C'est bien sur ce phénomène que repose la mesure de température sans contact.

#### 2.1.2 Absorption

L'absorption d'un matériau définit la capacité de ce dernier à convertir un flux d'énergie reçu en énergie interne. Cette capacité est bien évidemment différente suivant les matériaux.

#### 2.1.3 Réflexion et diffusion

La réflexion est régie par la loi de l'optique géométrique. Pour rappel, l'angle de réflexion est le même que l'angle d'incidence en prenant comme référence la normale au plan d'incidence. Un angle de réfraction est également présent. Cet angle est défini par la loi de Snell-Descartes. Ceci nous permet de définir l'angle de réfraction en fonction de l'angle d'incidence et de l'indice de réfraction. Nous parlons de diffusion quand un l'onde incidente est reflétée dans toutes les directions.

#### 2.1.4 Transparence et opacité

La transparence et l'opacité ont un impact direct sur la transmission d'une onde au travers d'un matériau. Nous pouvons donner comme exemple le vide comme d'un milieu transparent, nous pouvons facilement imaginer que ce milieu ne limitera en rien la transmission des ondes. Au contraire, un milieu opaque ne transmettra aucune onde.

Remarque

Il sera important lors de toute acquisition de température de prendre en compte ces différents flux pour éviter toute erreur de mesure.

## 2.2 Corps noir

Un corps noir est caractérisé par une absorption totale de tout rayonnement incident et ceci pour toutes les longueurs d'onde. Il faut bien se rendre compte qu'un tel comportement n'est que théorique néanmoins, cette approximation nous sert de référence pour définir les propriétés radiatives d'un corps réel.

## 2.3 Corps réel

Un corps réel est plus ou moins proche d'un corps noir suivant sa capacité d'absorption. Cette dernière ne sera plus idéale comme dans le cas du corps noir et sera décrite par son émissivité  $\epsilon$ .

### 2.3.1 Emissivité $\epsilon$

Cette variable est dépendante de plusieurs facteurs qui sont :

- La température
- La direction du rayonnement
- La longueur d'onde
- De la nature des matériaux employés

Elle sera toujours inférieure à 1 dans le cas du corps réel.

## 2.4 Loi mathématique rayonnement thermique émis

Commençons par donner la définition des grandeurs énergétique du rayonnement thermique. Nous avons :

- $M(T)$  est l'émittance totale ou radiance. Elle représente la puissance totale émise par unité de surface dans toutes les directions.
- $L(\theta, \phi, \lambda, T)$  est la luminance monochromatique ou brillance. Elle représente la puissance émise par unité de surface, par unité d'angle solide, dans une direction donnée et par unité de longueur d'onde.

Pour généralité, nous parlons de grandeur totale quand elle concerne toutes les longueurs d'onde et nous parlons de grandeur monochromatique quand elle concerne une direction et/ou une longueur précise.

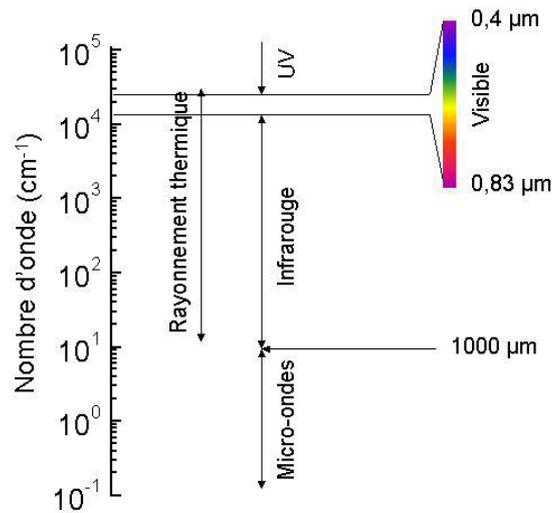


Figure 1 : Spectre électromagnétique

### 2.4.1 Corps noir

Voici les lois fondamentales permettant de calculer l'émittance pour un corps noir :

#### 2.4.1.1 Loi Stephan-Boltzman

Cette loi nous permet de calculer l'émittance en tant que puissance par unité de surface. L'émittance y est ici totale.

$$M^{\circ}(T) = \sigma \cdot T^4$$

Où :

- $\sigma$  est la constante de Stephan:  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{W \cdot K^4}{m^2} \right]$

#### 2.4.1.2 Loi de Planck

Cette loi permet de calculer la densité spectrale de puissance rayonnée par unité de surface en fonction de la longueur d'onde. L'émittance y est ici monochromatique.

$$M^{\circ}_{\lambda,n}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)}$$

Où :

- $C_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot C^2$
- $C_2 = \frac{h \cdot C}{\lambda}$
- C est la vitesse de la lumière :  $c = 2.998 \cdot 10^8 \left[ \frac{m}{s} \right]$
- h est la constante de Planck :  $h = 6.6256 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$
- k est la constante de Boltzmann :  $k = 1.38054 \cdot 10^{-23} \left[ \frac{J}{K} \right]$

### 2.4.1.3 Loi de Wien

Cette loi découle de la loi de Planck. Elle permet de calculer la longueur d'onde pour un flux d'émittance maximale à une température. La relation est la suivante :

$$\lambda \cdot T = C = 3000 [\mu\text{m} \cdot \text{K}]$$

Cette loi nous fait prendre conscience que la longueur d'onde émise est directement liée à sa température. Un objet émet dans le domaine des infrarouges si sa température est peu élevée et émet au contraire dans le visible avec une température supérieure.

Le graphique ci-dessous nous montre l'évolution de l'émittance en fonction de la longueur d'onde.

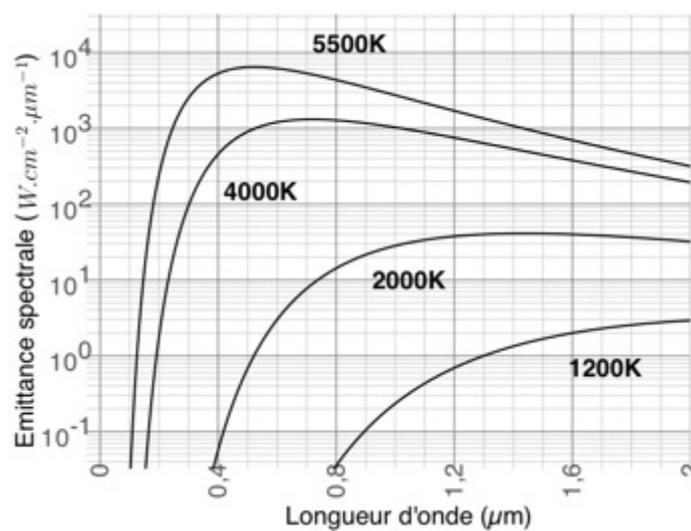


Figure 2 : Evolution de l'émittance en fonction de la longueur d'onde

### 2.4.2 Corps réel

L'émittance pour un corps réel prend en compte le facteur de l'émissivité. Nous pouvons dès lors retrouver la loi de Stephan-Boltzmann et la loi de Planck. Elles deviennent :

#### 2.4.2.1 Loi de Stephan-Boltzmann

$$M(T) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

#### 2.4.2.2 Loi de Planck

$$M_{\lambda,n}(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) \cdot \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

Où :

- $\varepsilon(\lambda, T)$  est l'émissivité du matériau en fonction de la longueur d'onde et de la température

Il est à noter que l'incertitude de la grandeur de l'émissivité est une des principales sources d'erreur potentielle.

### 3 Absorption du rayonnement thermique

Il est très important de prendre conscience que lors du trajet de mesure une partie de l'énergie émit par l'objet sera perdue. Cette notion est importante si l'on veut pouvoir évaluer correctement la température d'un objet.

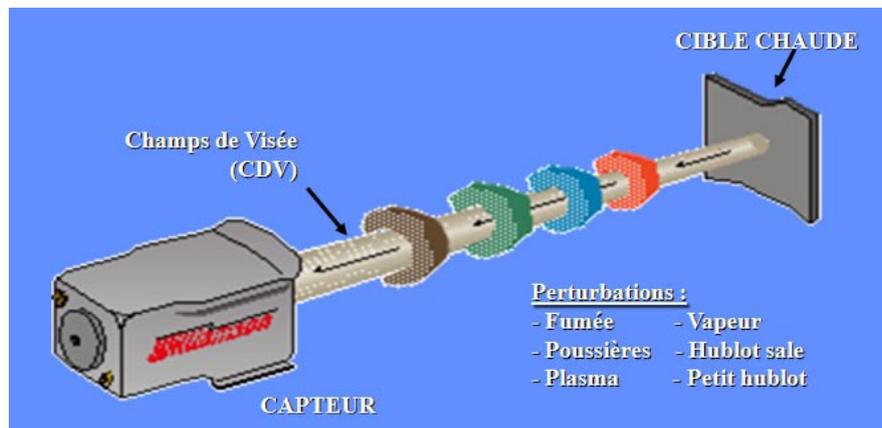


Figure 3 : Illustration des perturbations de mesure

### 4 Type de pyromètre

Il existe plusieurs sortes de pyromètres. On peut distinguer :

- Les pyromètres monochromatiques
- Les pyromètres bichromatiques
- Les pyromètres mesureurs d'énergie

#### 4.1 Le pyromètre optique à disparition de filament

Le principe de fonctionnement du pyromètre à disparition de filament est de comparer l'émittance monochromatique à celle d'un corps de référence étalonné. C'est un pyromètre monochromatique. Dans ce cas, la référence sera un filament par exemple tungstène qui a une longueur d'onde  $\lambda=0.65$  [ $\mu\text{m}$ ]. Voici le schéma optique d'un tel système :

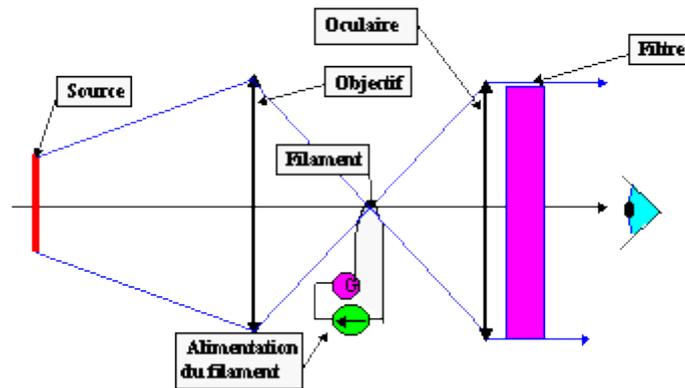


Figure 4 : Schéma optique pyromètre optique à filament

Le principe du mode opératoire sera de régler le courant parcourant le filament pour que ce dernier se superpose à l'image de la source. Dès que nous aurons superposé les deux éléments et connaissant le comportement du filament, il sera possible de déduire la température de la source. L'image ci-dessous explicite ce principe :

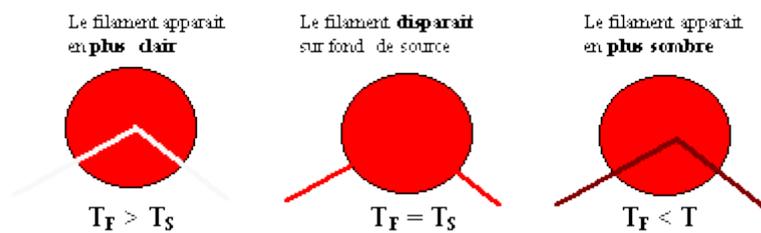


Figure 5 : Réglage de la température du filament

Nous voyons sur cette photo les différents états de comparaison entre le filament et la source.

## 4.2 Pyromètres à radiation totale

Le principe de ce pyromètre est de comparer l'émittance du corps à étudier avec l'émittance d'un corps noir étalonné préalablement. Pour cela, le pyromètre va capter une fraction connue de puissance qu'il va diriger sur un élément photosensible. Celui-ci va dès lors s'échauffer. La différence de température entre cet élément et la température ambiante va être mesurée par des thermocouples. L'étalonnage préalable permettra de relier cette valeur à un corps noir. De là il sera possible de connaître la température du corps observé. Le schéma optique est le suivant :

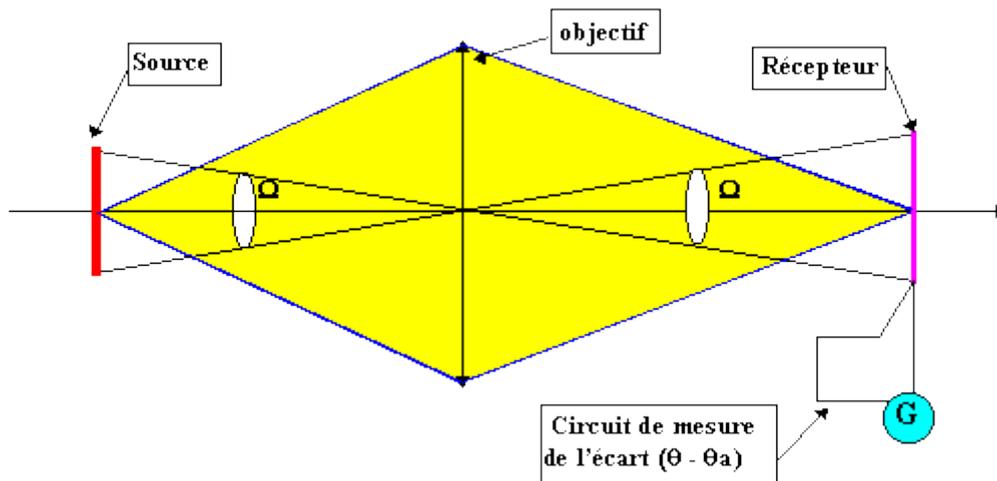


Figure 6 : Schéma optique pyromètre à radiation totale

## 4.3 Pyromètres bichromatiques

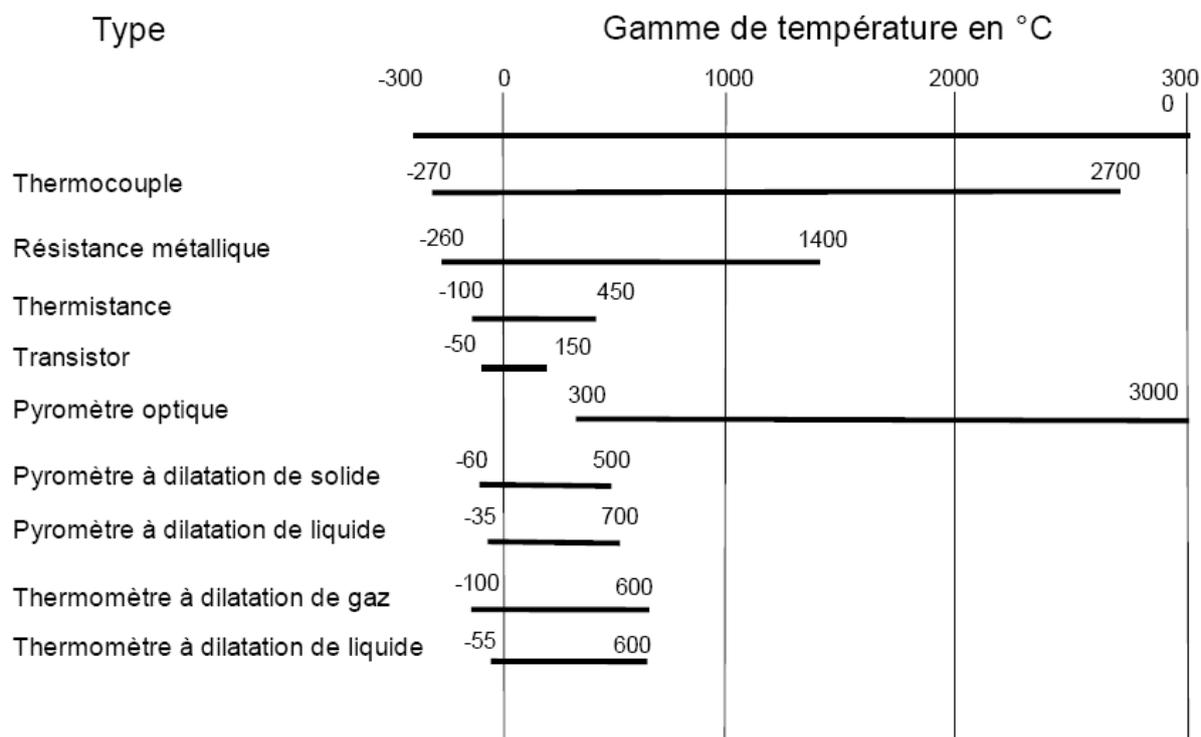
Ce pyromètre peut être considéré comme un doublet de pyromètres monochromatiques travaillant dans deux plages voisines du rayonnement thermique. Le rapport des deux signaux ne dépendra plus de l'émissivité. Ceci est le grand intérêt de ce type de pyromètre.

## 4.4 Pyromètres mesureurs d'énergie

Ce pyromètre travaille avec l'ensemble du spectre de rayonnement thermique de la cible qui est reçu par un détecteur à large bande, de types thermiques. En pratique le pyromètre devra être étalonné à l'aide d'un thermocouple.

## 4.5 Gamme de température d'utilisation

Le graphique suivant résume le domaine d'application des capteurs à contacts et sans contacts.



## 5 Conclusion

Le pyromètre est sans conteste un élément important pour des processus industriels en boucle fermée. Il permet une surveillance dans une large gamme température sans modification de la nature des objets à mesurés. En outre, son emploi peut se faire dans des environnements difficiles. Sa facilité d'emploi, sa précision et sa fiabilité font de lui un élément très intéressant.

Les fournisseurs d'un tel élément sont multiples et un recensement de ceux-ci aurait été trop contraignant. Une recherche sur [kompass.ch](http://kompass.ch) suffira à trouver l'élément par nos distributeurs nationaux.

Yverdon-les-Bains, le 8 février 2009

Romanens Fabian

## 6 Bibliographie

Documents :

- cours3\_temperature.pdf
- Principe\_pyrométrie.ppt
- rayonnement\_thermique.pdf

Sites internet :

- <http://gatt.club.fr/page1/page29/page29.html>
- <http://www.iut-lannion.fr/LEMEN/MPDOC/NTPF2/SERIE3/pyrorath.htm>
- <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/blanquet/rayonnem/11defloi/11defloi.htm>